

面向 **21** 世纪

高等学校信息工程专业系列教材

# 通信原理与通信技术

*Principles & Technology of Communications*

主编 张卫钢

西安电子科技大学出版社  
<http://www.xduph.com>

## 内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了现代通信原理、数据通信原理以及相关的通信技术。全书共分三篇 21 章。内容包括通信与通信系统的基本概念、模拟调制、脉冲编码调制、增量调制、数字复接与 SDH、数字信号的基带传输、数字信号的频带传输、差错控制编码、数据通信与通信网、计算机网络体系结构、通信终端与通信设备、数据交换技术、网络互连设备及其通信概念、接入网技术、蓝牙技术、IP 电话技术、光纤通信技术、卫星通信技术、移动通信技术、数字微波中继通信技术和 ITS 中的通信技术。

为了顺应通信技术和计算机网络技术的飞速发展,使学生能够在较短的时间内全面系统地掌握通信和计算机网络等方面的知识,本书首次尝试将传统的通信、现代通信和现代计算机数据通信技术融合在一起,使本书的内容能够反映当代通信技术的新进展,使读者能够充分掌握现代通信原理与技术。书中结合大量插图深入浅出地讲述了理论知识,还针对性地介绍了一些实用通信技术,避免了纯理论学习的枯燥乏味,使学生在学习的过程中,既掌握了理论知识,又了解了理论在实际中的应用,从而提高学生的学习兴趣,加强对知识的掌握和理解。

本书是专为普通高校非通信专业而编写的本科生教材,也适用于相应专科和高职院校的学生。本书也可作为有志青年的自学教材和有关工程技术人员的参考书。

★本书配有电子教案,有需要者可与西安电子科技大学出版社联系,免费索取。

## 图书在版编目(CIP)数据

通信原理与通信技术/张卫钢主编.

—西安:西安电子科技大学出版社,2003.7

(面向 21 世纪高等学校信息工程专业系列教材)

ISBN 7-5606-1248-2

I. 通… II. 张… III. ①通信理论-高等学校-教材 ②通信技术-高等学校-教材 IV. TN91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 039885 号

责任编辑 杨宗周 云立实

出版发行 西安电子科技大学出版社(西安市太白南路 2 号)

电 话 (029)8242885 8201467 邮 编 710071

http://www.xduph.com E-mail: xdupfxb@pub.xaonline.com

经 销 新华书店

印刷单位 陕西画报社印刷厂

版 次 2003 年 7 月第 1 版 2003 年 7 月第 1 次印刷

开 本 787 毫米×1092 毫米 1/16 印张 21.875

字 数 514 千字

印 数 1~4 000 册

定 价 23.00 元

ISBN 7-5606-1248-2/TN·0225(课)

**XDUP 1519001-1**

\*\*\* 如有印装问题可调换 \*\*\*

# 序

第三次全国教育工作会议以来,我国高等教育得到空前规模的发展。经过高校布局和结构的调整,各个学校的新专业均有所增加,招生规模也迅速扩大。为了适应社会对“大专业、宽口径”人才的需求,各学校对专业进行了调整和合并,拓宽专业面,相应的教学计划、大纲也都有了较大的变化。特别是进入 21 世纪以来,信息产业发展迅速,技术更新加快。面对这样的发展形势,原有的计算机、信息工程两个专业的传统教材已很难适应高等教育的需要,作为教学改革的重要组成部分,教材的更新和建设迫在眉睫。为此,西安电子科技大学出版社聘请南京邮电学院、西安邮电学院、重庆邮电学院、吉林大学、杭州电子工业学院、桂林电子工业学院、北京信息工程学院、深圳大学、解放军电子工程学院等 10 余所国内电子信息类专业知名院校长期在教学科研第一线工作的专家教授,组成了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材编审专家委员会,并且面向全国进行系列教材编写招标。该委员会依据教育部有关文件及规定对这两大类的教学计划和课程大纲,对目前本科教育的发展变化和相应系列教材应具有的特色和定位以及如何适应各类院校的教学需求等进行了反复研究、充分讨论,并对投标教材进行了认真评审,筛选并确定了高等学校计算机、信息工程类专业系列教材的作者及审稿人。这套教材预计在 2004 年春季全部出齐。

审定并组织出版这套教材的基本指导思想是力求精品、力求创新、好中选优、以质取胜。教材内容要反映 21 世纪信息科学技术的发展,体现专业课内容更新快的要求;编写上要具有一定的弹性和可调性,以适合多数学校使用;体系上要有所创新,突出工程技术型人才培养的特点,面向国民经济对工程技术人才的需求,强调培养学生较系统地掌握本学科专业必需的基础知识和基本理论,有较强的本专业的基本技能、方法和相关知识,培养学生具有从事实际工程的研发能力。在作者的遴选上,强调作者应在教学、科研第一线长期工作,有较高的学术水平和丰富的教材编写经验;教材在体系和篇幅上符合各学校的教学计划要求。

相信这套精心策划、精心编审、精心出版的系列教材会成为精品教材,得到各院校的认可,对于新世纪高等学校教学改革和教材建设起到积极的推动作用。

系列教材编委会

2002 年 8 月

# 高等学校计算机、信息工程类专业

## 系列教材编审专家委员会

主任：杨震（南京邮电学院副院长、教授）

副主任：张德民（重庆邮电学院通信与信息工程学院院长、教授）

韩俊刚（西安邮电学院计算机系主任、教授）

李荣才（西安电子科技大学出版社总编辑、教授）

### 计算机组

组长：韩俊刚（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

王小民（深圳大学信息工程学院计算机系主任、副教授）

王小华（杭州电子工业学院计算机分院副院长、副教授）

孙力娟（南京邮电学院计算机系副主任、副教授）

李秉智（重庆邮电学院计算机学院院长、教授）

孟庆昌（北京信息工程学院教授）

周娅（桂林电子工业学院计算机系副主任、副教授）

张长海（吉林大学计算机科学与技术学院副院长、教授）

### 信息工程组

组长：张德民（兼）

成员：（按姓氏笔画排列）

方强（西安邮电学院电信系主任、教授）

王晖（深圳大学信息工程学院电子工程系主任、副教授）

胡建萍（杭州电子工业学院电子信息分院副院长、副教授）

徐祎（解放军电子工程学院电子技术教研室主任、副教授）

唐宁（桂林电子工业学院通信与信息工程系副主任、副教授）

章坚武（杭州电子工业学院通信工程分院副院长、教授）

康健（吉林大学通信工程学院副院长、教授）

蒋国平（南京邮电学院电子工程系副主任、副教授）

总策划：梁家新

策划：马乐惠 云立实 马武装 马晓娟

电子教案：马武装

# 前 言

当今社会是一个信息化的社会。

如果说 20 世纪是计算机的时代，那么 21 世纪将由计算机网络主宰世界。计算机网络作为一门科学技术、一种新兴文化、一种通信方式将全面改变人类的精神与物质生活，并将对科学技术的全面发展产生巨大的推动作用，这主要表现在以下几个方面：

**电子交流：**人与人之间的信息与情感交流方式由于生活和工作节奏的加快，将从传统的面对面谈话、登门拜访、信函通信向电子交流方式发展，比如，普通电话、可视电话、E-mail 等等。网上聊天、网上交友将成为年轻人的新时尚。

**电子商务：**电子商务就是可以通过网络进行的所有人类经济活动的总和。有了电子商务，人们不用再为进货销售东奔西跑，不用再为生意合同频频会面，不用再为付款催账而成为银行的常客，人们足不出户即可在分秒之间全部完成这些昔日耗费大量精力和物力的商务活动。尤其是在对外贸易活动中，电子商务扮演着极为重要的角色。同样，对于喜欢上街购物而又没有时间的女士来说，到网上浏览各种网络商店，随心所欲地选购自己喜爱的商品，然后坐等送货上门，再通过网络付款，这不仅满足了生活所需，而且免去了腿脚之劳，将成为一种购物时尚。由电子定单、电子合同、电子货币、电子支票、网络银行、网络商店等基本要素构成的电子商务被认为是现代化的一个标志，是人们经济活动方式上的一次飞跃。

**电视会议：**传统的聚众开会将成为历史，不同地区甚至不同国家的人们将利用网络的多媒体功能，召开身临现场般的电视会议，这不仅节省了大量的差旅费，而且更迅速、更方便。

**远程教育：**远程教育不仅将为那些远离学校和难以入校的人们带来福音，也极大地拓宽了受教育面，同时也改变了传统的课堂教育模式，配合视频点播功能可使受教育者随时随地自由选择学校和课程并进行学习。

**远程医疗：**到医院看病治疗一直是人们比较头痛的问题，尤其是缺医少药的偏远地区。有了远程医疗，人们在家中通过网络不仅可寻医问药，还能遍邀世界各地的名医专家会诊治病，从而大大提高了人类健康水平和预防与治疗疾病的水平。

**网上娱乐：**你想打桥牌吗？你想找人对奕吗？你想与朋友进行游戏对抗吗？网络时代的很多娱乐活动将不再需要人们共聚一室，你可通过网络与世界各地的爱好者同享此乐。

**视频点播：**现在虽然电视节目有很多，但人们仍觉得可看（自己喜欢）的节目太少。视频点播将结束人们的这种烦恼，人们在家中可随意到自己热衷的电视台点播自己喜欢的各类电视节目。

凡此种种，不胜枚举。通过上述实例我们可以看到，尽管计算机网络的作用非常巨大，但它的主要功能就是信息的传输与交换，其核心技术就是通信技术，计算机网络实质上就是一种通信网络。另外，从 20 世纪 80 年代开始，我国大部分高等院校陆续开设计算机专业，为我国的建设培养了大批的专业技术人员，但由于历史原因和条件所限，各校的计

机专业所设课程基本上都围绕在计算机的组成原理、硬件接口、操作系统、软件工程、数据结构、应用软件、数据库等单机应用的知识上。后来随着网络技术的发展,又增加了一些网络方面的课程,但从当前社会的需求和学生的实际能力,尤其是从网络技术方面的知识掌握和应用能力上看,我们认为计算机专业的学生还缺乏对通信技术的整体把握和相关知识的学习与了解,而其他非通信专业的学生也存在同样的问题。

目前不少计算机网络教材都介绍了一点有关数据通信的基本知识,但广度和深度远远不够,这使得学生在计算机网络及相关通信领域进行更深入的探索与研究时显得力不从心。因此,学习和掌握通信原理和通信技术方面的知识,是学习和掌握计算机网络的基础与核心。为此,我们从1999年在计算机本科专业开设了原来只属于通信专业骨干课程的“通信原理”以及前期的必修课程“信号与系统”。通过几年的教学实践,我们取得了许多宝贵的经验,并且得到了学生与社会的认可,但同时也发现了不少问题,其中最主要的就是教材不合适。目前有关通信原理的教材大都是针对通信专业的,对于计算机专业及其它非通信专业来说,数学内容过多、过深,有关通信的基础知识缺乏介绍与铺垫。因此,我们根据自己长期的教学经验和实践,参考部分大学的教学大纲,编著了这本观点独到、语句精练、论述清楚、内容丰富、紧跟潮流的大学本科教材,以期对21世纪的科学技术发展和人才培养贡献一点儿绵薄之力。

本书参考学时为50学时,其中第一篇30学时,第二、三篇各10学时。

本书主要有以下几个特点:

(1) 内容安排独具匠心。首次将传统的通信原理和新兴的数据通信以及当前主要的通信应用技术编排在一起,使学生通过本书的学习对当代各种通信技术有一个全面的认识与了解。

(2) 知识层次深浅得当。根据学生通信知识薄弱的情况,对学科知识进行了恰当取舍,突出定性分析,减少数学推导。

(3) 文笔通俗,亲和力强,可读性好。作者力求以通俗易懂的语言将枯燥的理论知识娓娓道来,以提高学生的阅读兴趣和阅读效率。

本书由张卫钢主编、统稿并执笔第1、2、3、8和第21章;马海燕编写第5、6、7、17、18、19和第20章;吴潜蛟编写第13、15和第16章;石美红编写第10、11章;第1.4节和第9章由石美红和张卫钢共同编写;第4、12、14章由吴潜蛟和张卫钢共同编写;第19章由马海燕和张卫钢共同编写。马海燕、石美红和吴潜蛟同时还担任本教材的副主编工作,为本书的出版做出了应有的贡献。王兴亮教授在百忙中审阅了书稿,李纪澄教授以极端负责的态度对本教材进行了复审,并提出了宝贵意见,对两位教授所付出的辛勤劳动我们表示深深的谢意。本书是在翻阅大量参考文献的基础上,结合作者多年教学的心得和体会编写而成的。

由于水平所限,难免有错误和讲述不当的地方,恳请读者斧正。

对本书选用的参考文献的各位译、作者,在此表示衷心的感谢和崇高的敬意。

编 者

2003年5月

# 目 录

## 第一篇 通信原理

<b>第 1 章 通信与通信系统的基本概念</b> .....	3	2.3.2 AM 信号的解调	43
1.1 通信的概念	3	2.4 AM 和 DSB 的性能比较	44
1.2 通信系统	3	2.5 单边带调制(SSB)	44
1.2.1 通信系统的定义与组成	3	2.6 残留边带调制(VSB)	46
1.2.2 通信系统的分类	4	2.7 插入载波的包络检波	48
1.3 通信方式	7	2.8 频分复用(FDM)	48
1.4 信道和传输介质	8	2.9 角调制	50
1.4.1 信道的概念	8	2.9.1 角调制的基本概念	50
1.4.2 传输介质	9	2.9.2 窄带角调制和宽带角调制	52
1.5 信号与噪声	14	2.9.3 调频信号的产生与解调	53
1.5.1 信号的定义与分类	14	2.9.4 频率调制的特点	55
1.5.2 噪声的定义与分类	16	2.9.5 输出信噪比与信道带宽的关系	56
1.6 信号频谱与信道通频带	17	2.10 调制的功能与分类	57
1.6.1 周期信号的频谱	17	习题与思考题	58
1.6.2 非周期信号的频谱	20	参考文献	60
1.6.3 信道通频带	22	<b>第 3 章 脉冲编码调制(PCM)</b> .....	61
1.7 信息的度量与香农公式	23	3.1 PCM 基本概念	61
1.7.1 信息的度量	23	3.2 抽样	61
1.7.2 信道容量与香农公式	26	3.3 量化	63
1.7.3 信道带宽与信道容量的关系	28	3.4 PCM 编码	66
1.8 多路复用的基本概念	30	3.5 抽样定理	68
1.9 常用的通信手段	32	3.5.1 低通抽样定理	68
1.10 通信系统的性能评价	33	3.5.2 带通抽样定理	70
1.11 通信技术发展史	34	3.6 时分复用	71
习题与思考题	36	习题与思考题	74
参考文献	37	参考文献	74
<b>第 2 章 模拟调制</b> .....	38	<b>第 4 章 增量调制</b> .....	75
2.1 调制的概念	38	4.1 简单增量调制	75
2.2 抑制载波的双边带调幅(DSB)	40	4.1.1 增量调制的基本概念	75
2.2.1 DSB 信号的调制	40	4.1.2 $\Delta M$ 的调制原理	75
2.2.2 DSB 信号的解调	41	4.1.3 $\Delta M$ 的解调原理	77
2.3 常规双边带调幅(AM)	42	4.1.4 $\Delta M$ 调制存在的问题	78
2.3.1 AM 信号的调制	42	4.2 增量总和调制	79

4.2.1 增量总和调制原理	79	7.1.4 2ASK 解调器	116
4.2.2 增量总和调制的解调原理	80	7.2 二进制频移键控(2FSK)	117
习题与思考题	80	7.2.1 2FSK 调制的基本原理及 波形表达式	117
参考文献	81	7.2.2 2FSK 调制的频域特性	118
<b>第5章 数字复接与SDH</b>	82	7.2.3 2FSK 调制器	118
5.1 PCM 复用与数字复接	82	7.2.4 2FSK 解调器	118
5.1.1 基本概念	82	7.3 二进制相移键控(2PSK)	119
5.1.2 数字比特系列与复接等级	82	7.3.1 2PSK 调制的基本原理及 波形表达式	119
5.1.3 PCM 基群帧结构	83	7.3.2 2PSK 调制的频域特性	120
5.1.4 数字复接的原理与分类	84	7.3.3 2PSK 调制器	120
5.2 同步数字序列SDH简介	87	7.3.4 2PSK 解调器	121
5.2.1 SDH 的提出	87	7.4 二进制差分相移键控(2DPSK)	122
5.2.2 SDH 的帧结构	88	7.4.1 2DPSK 调制的基本原理及 波形表达式	122
5.2.3 SDH 的发展前景	90	7.4.2 2DPSK 解调	122
习题与思考题	90	7.5 多进制数字调制	124
参考文献	90	7.5.1 多进制幅度键控(MASK)	124
<b>第6章 数字信号的基带传输</b>	91	7.5.2 多进制相移键控(MPSK)	125
6.1 数字基带信号的码型	91	7.5.3 多进制频移键控(MFSK)	129
6.1.1 数字基带信号的码型设计原则	91	习题与思考题	130
6.1.2 二元码	92	参考文献	131
6.1.3 三元码	95	<b>第8章 差错控制编码</b>	132
6.1.4 多元码	97	8.1 差错控制编码的基本概念	132
6.1.5 数字基带信号的功率谱	97	8.2 差错控制方式	133
6.2 无码间串扰的传输波形	98	8.3 差错控制编码分类	135
6.2.1 码间串扰的概念	98	8.4 检错和纠错原理	135
6.2.2 第一无失真条件及传输波形	99	8.5 几种常用的检错码	138
6.3 扰码和解扰	105	8.5.1 奇偶校验码	138
6.3.1 m 序列的产生和性质	105	8.5.2 水平奇偶校验码	139
6.3.2 扰码和解扰原理	109	8.5.3 二维奇偶校验码	139
6.3.3 m 序列在误码测试中的应用	110	8.5.4 群计数码	140
6.4 眼图	111	8.5.5 恒比码	140
习题与思考题	112	8.6 线性分组码	141
参考文献	113	8.7 循环码	147
<b>第7章 数字信号的频带传输</b>	114	习题与思考题	149
7.1 二进制幅度键控(2ASK)	114	参考文献	150
7.1.1 2ASK 调制的基本原理及 波形表达式	114		
7.1.2 2ASK 调制的频域特性	115		
7.1.3 2ASK 调制器	116		



## 第二篇 数据通信

<b>第 9 章 数据通信与通信网</b> .....	153	习题与思考题	190
9.1 数据通信与数据通信系统 .....	153	参考文献	190
9.1.1 数据通信的定义及特点 .....	153	<b>第 11 章 通信终端与通信设备</b> .....	192
9.1.2 数据通信系统的组成 .....	155	11.1 通信终端 .....	192
9.1.3 数据通信的主要性能指标 .....	156	11.1.1 数据终端的组成 .....	192
9.1.4 数据通信方式 .....	157	11.1.2 数据终端设备的分类 .....	193
9.2 通信网 .....	160	11.2 通信设备 .....	195
9.2.1 通信网及其结构 .....	160	11.2.1 调制解调器 .....	195
9.2.2 通信网拓扑结构 .....	162	11.2.2 多路复用器 .....	195
9.3 现代通信网的支撑技术 .....	163	11.2.3 集中器 .....	195
9.3.1 应用层技术 .....	163	11.2.4 前端处理器 .....	196
9.3.2 业务网技术 .....	164	11.2.5 协议转换器 .....	196
9.3.3 传送网技术 .....	165	习题与思考题	197
9.3.4 支撑网技术 .....	166	参考文献	197
9.4 计算机网络的发展 .....	166	<b>第 12 章 数据交换技术</b> .....	198
习题与思考题	170	12.1 交换的概念 .....	198
参考文献	170	12.2 交换的基本功能 .....	200
<b>第 10 章 计算机网络体系结构</b> .....	171	12.3 常用的交换技术 .....	200
10.1 网络体系结构概述 .....	171	12.3.1 线路交换 .....	200
10.2 网络体系结构的几个重要概念 .....	172	12.3.2 报文交换 .....	202
10.2.1 网络协议 .....	172	12.3.3 分组交换 .....	203
10.2.2 网络服务 .....	173	12.3.4 异步转移模式 ATM .....	206
10.2.3 面向连接服务与无连接服务 .....	175	习题与思考题	216
10.3 ISO/OSI 的参考模型 .....	175	参考文献	216
10.3.1 物理层 .....	176	<b>第 13 章 网络互连设备及其通信概念</b> .....	217
10.3.2 数据链路层 .....	176	13.1 网络互连的基本概念 .....	217
10.3.3 网络层 .....	177	13.2 网络互连设备 .....	218
10.3.4 传输层 .....	177	13.2.1 中继器 .....	218
10.3.5 会话层 .....	177	13.2.2 网桥 .....	220
10.3.6 表示层 .....	178	13.2.3 路由器 .....	223
10.3.7 应用层 .....	178	13.2.4 网关 .....	228
10.4 TCP/IP 网络体系结构 .....	179	13.3 几种“信道”概念的理解 .....	230
10.4.1 TCP/IP 协议分层 .....	179	习题与思考题	231
10.4.2 网络体系结构 .....	179	参考文献	231
10.5 TCP/IP 模型的特点及其与 ISO/OSI 模型比较 .....	189		

### 第三篇 现代通信技术

<b>第 14 章 接入网技术</b> .....	235	17.1.2 光纤通信的特点 .....	274
14.1 接入网的概念 .....	235	17.1.3 光纤通信原理 .....	276
14.2 接入网的接口技术 .....	238	17.1.4 光纤通信系统的组成 .....	276
14.2.1 接入网的界定与功能模型 .....	238	17.1.5 光端机 .....	278
14.2.2 V5 接口 .....	239	17.1.6 中继器 .....	281
14.3 接入网的分类 .....	240	17.1.7 监控系统 .....	281
14.4 接入技术 .....	241	17.2 波分复用技术(WDM) .....	282
14.4.1 铜线接入技术(xDSL) .....	241	17.3 光纤通信的发展趋势 .....	283
14.4.2 混合光纤同轴电缆接入网 .....	245	习题与思考题 .....	284
14.4.3 无线接入网技术 .....	246	参考文献 .....	284
14.4.4 光接入网(OAN) .....	248	<b>第 18 章 卫星通信技术</b> .....	285
14.5 结论 .....	252	18.1 卫星通信的基本概念 .....	285
习题与思考题 .....	253	18.2 通信卫星的种类 .....	286
参考文献 .....	253	18.3 卫星通信系统分类 .....	288
<b>第 15 章 蓝牙技术</b> .....	254	18.4 卫星通信的特点 .....	289
15.1 “蓝牙”的由来 .....	254	18.5 卫星通信系统的组成及工作原理 .....	289
15.2 蓝牙技术概述 .....	254	18.6 空分多址(SDMA) .....	293
15.3 蓝牙技术的特点 .....	257	18.7 卫星通信新技术 .....	294
15.4 蓝牙系统组成 .....	257	18.7.1 VSAT 卫星通信系统 .....	294
15.5 蓝牙技术与无线局域网 .....	259	18.7.2 低轨道(LEO)移动卫星 通信系统 .....	295
15.6 蓝牙技术的实现方式 .....	260	18.7.3 中轨道(MEO)移动卫星 通信系统 .....	295
15.7 蓝牙技术的应用 .....	261	18.7.4 静止轨道(GEO)移动卫星 通信系统 .....	296
15.8 蓝牙产品的现状及所面临的问题 .....	263	习题与思考题 .....	296
15.8.1 蓝牙产品现状 .....	263	参考文献 .....	296
15.8.2 蓝牙技术面临的问题 .....	264	<b>第 19 章 移动通信技术</b> .....	297
习题与思考题 .....	265	19.1 移动通信的概念及其特点 .....	297
参考文献 .....	265	19.2 移动通信系统的分类 .....	298
<b>第 16 章 IP 电话技术</b> .....	266	19.3 移动通信技术的发展概况 .....	299
16.1 IP 电话概述 .....	266	19.4 移动通信系统的组成 .....	301
16.2 IP 电话基本工作原理 .....	267	19.5 GSM 移动通信系统 .....	302
16.2.1 IP 电话的系统组成 .....	268	19.5.1 GSM 系统简介 .....	302
16.2.2 IP 电话的实现方式 .....	270	19.5.2 GSM 数字蜂窝系统的结构 .....	303
16.3 IP 电话的相关技术标准 .....	270	19.5.3 GSM 系统的传输方式 .....	304
16.4 IP 电话的服务质量及发展前景 .....	272	19.6 CDMA 移动通信系统 .....	305
习题与思考题 .....	273	19.6.1 CDMA 系统简介 .....	305
参考文献 .....	273	19.6.2 CDMA 系统工作原理 .....	305
<b>第 17 章 光纤通信技术</b> .....	274	19.6.3 CDMA 系统的传输方式 .....	307
17.1 光纤通信 .....	274		
17.1.1 光纤通信的概念 .....	274		

19.6.4 CDMA 系统的主要优点 .....	308	参考文献 .....	321
19.7 集群系统 .....	309	<b>第 21 章 ITS 中的通信技术</b> .....	322
19.7.1 集群系统的概念 .....	309	21.1 ITS 概述 .....	322
19.7.2 集群系统的组成 .....	309	21.2 ITS 中的通信系统 .....	324
19.7.3 集群系统的特点 .....	309	21.3 ITS 中的通信技术 .....	325
19.8 无线寻呼系统 .....	311	21.3.1 ITS 中的通信技术概述 .....	325
19.8.1 无线寻呼系统简介 .....	311	21.3.2 专用短程通信标准(DSRC) .....	327
19.8.2 无线寻呼系统工作过程 .....	312	21.3.3 ETC 中的几种短程通信技术 .....	328
19.8.3 无线寻呼系统的组成 .....	312	21.4 GPS 系统 .....	332
习题与思考题 .....	314	21.4.1 GPS 概述 .....	332
参考文献 .....	314	21.4.2 GPS 系统组成 .....	332
<b>第 20 章 数字微波中继通信技术</b> .....	315	21.4.3 GPS 定位原理 .....	333
20.1 数字微波中继通信的概念 .....	315	21.5 国外有关系统介绍 .....	335
20.2 数字微波中继通信的特点 .....	316	21.5.1 Ali-Scout 系统 .....	335
20.3 数字微波中继通信系统的组成 .....	316	21.5.2 AMTICS 系统 .....	336
20.4 数字微波中间站的转接方式 .....	318	习题与思考题 .....	338
20.5 数字微波的收发信设备 .....	319	参考文献 .....	338
习题与思考题 .....	321		

# 第一篇

## 通信原理

1982



# 第 1 章 通信与通信系统的基本概念

## 1.1 通信的概念

谈到通信,我们每个人都不陌生。古代的烽火报警,就是把敌人入侵的消息通过烽火传达给远方的人们(类似的例子还有抗日战争时期的“消息树”);舰船上的灯语和旗语通过灯的闪烁和旗子的挥动与另一舰船或港口进行无声的对话;传统的信函以文字形式把游子的思乡之情浓缩于尺素之中,再利用邮政媒体送达家人;在各种建设工地上,工人们经常使用对讲机相互联络,协调工作;在电影电视中经常看到军人或警察利用无线电台进行作战指挥;还有电报、电传、电话、寻呼、移动电话、有线广播、无线广播、有线电视、无线电视等当代最为普及的通信手段都是现实生活中我们所熟悉的通信实例。在上述实例中我们发现,无论是远古狼烟滚滚的烽火,还是今天四通八达的电话,无论是饱含情谊的书信,还是绚丽多彩的电视画面,尽管通信的方式各种各样,传递的内容千差万别,但都有一个共性,那就是进行信息的传递。因此,我们对通信下一个简练的定义:

所谓通信,就是信息的传递。这里“传递”可以认为是一种信息传输的过程或方式。

随着计算机技术和计算机网络技术的飞速发展,计算机网络通信也进入了我们的生活。通过因特网(Internet),我们足不出户就可看报纸、听新闻、查资料、逛商店、玩游戏、上课、看病、下棋、购物、发电子邮件。网络通信丰富多彩的功能极大地拓宽了通信技术的应用领域,使通信渗入到人们物质与精神生活的各个角落,成为人们日常生活中不可缺少的组成部分,有关通信方面的知识与技术也就成为当代人应该了解和掌握的热门知识之一。

在这里我们所讨论的通信不是广义上的通信,而是特指利用各种电信号和光信号作为通信信号的电通信与光通信。

作为一门科学、一种技术,现代通信所研究的主要问题概括地说就是如何把信息大量地、快速地、准确地、广泛地、方便地、经济地、安全地从信源通过传输介质传送到信宿。“通信原理”就是介绍支撑各种通信技术的通信基本概念和数学理论基础。

## 1.2 通信系统

### 1.2.1 通信系统的定义与组成

用于进行通信的设备硬件、软件和传输介质的集合叫做通信系统。需要强调的是,过去对通信系统的定义没有软件部分,但随着计算机进入通信系统,通信软件就成为组成通信系统的基本要素,因此我们在定义中加入软件这一模块。从硬件上看,通信系统主要由

信源、信宿、传输介质和收信、发信设备五部分组成，如图 1-1 所示(注意，图中的干扰可以理解是通信系统的一部分，因为在实际应用中，一个通信系统无法彻底消除干扰)。

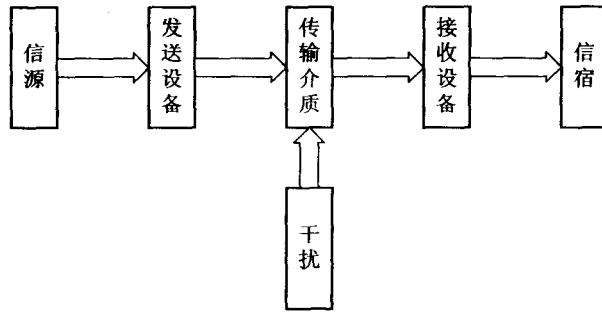
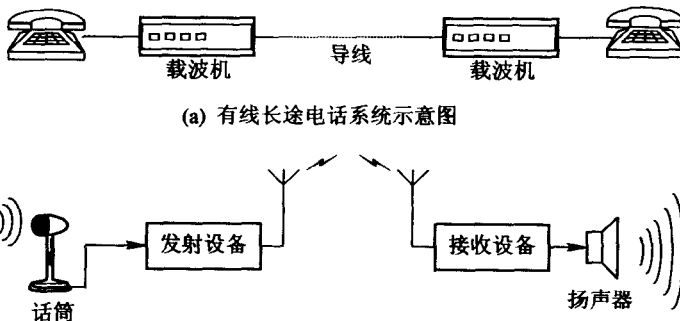


图 1-1 模拟通信系统的一般模型

比如电话通信系统就包括：送话器、电线、交换机、载波机、受话器等要素。广播通信系统包括麦克风、放大器、发送设备、无线电波、收音机等。两个通信系统实例示意图如图 1-2 所示。



(a) 有线长途电话系统示意图

(b) 广播通信系统示意图

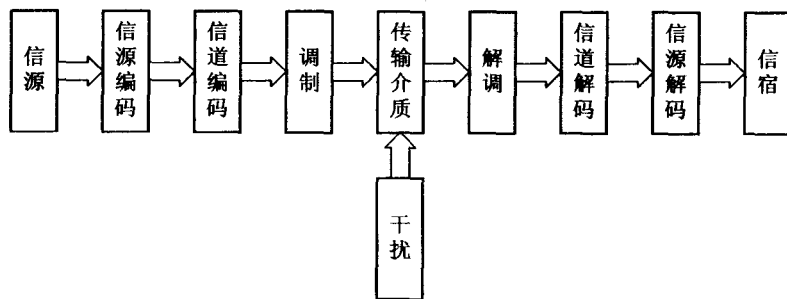
图 1-2 通信系统实例示意图

## 1.2.2 通信系统的分类

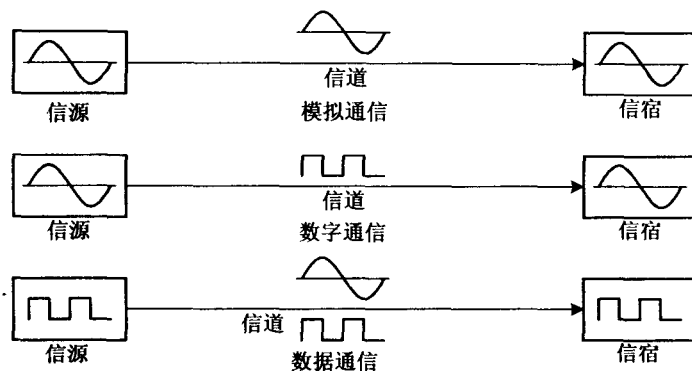
### 1. 按信号特征分类

根据信道传输信号种类的不同，通信系统可分为两大类：模拟通信系统和数字通信系统。信道中传输模拟信号的系统称为模拟通信系统，如大家熟悉的电话、广播和电视系统；信道中传输数字信号的系统称为数字通信系统(模型如图 1-3(a)所示)，比如数字电话通信系统。

从图 1-3(a)中我们看到，数字通信系统与图 1-1 的主要区别是多了信源编码(解码)和信道编码(解码)功能模块，而这正是数字通信系统的特点所在。信源编码完成的是将模拟信息(模拟信号)转换成数字信号的功能(信源解码功能相反)；信道编码是将信源编码输出的数字信号(一般是经自然编码后的数字信号。自然编码指的是用高电平表示“1”，低电平表示“0”的简单编码方式)变成适合于信道传输的码型(信道解码功能相反)，以提高传输的有效性和可靠性。有关内容我们在后面会有详细介绍。



(a) 数字通信系统模型



(b) 三种通信系统示意图

图 1-3 数字通信系统示意图

需要说明的是，自从有了数据通信系统之后，这种以信道传输信号的种类为标准对通信系统进行的分类就显得不够严谨，因为数据通信系统的信道可以是传输数字信号的信道，也可以是传输模拟信号的信道，或者说数据通信中的数据信号既可以以数字信号的形式在数字信道中传输（比如局域网），也可以转换成模拟信号在模拟信道中传输（比如通过“猫”——调制解调器上网）。

根据通信技术的现状，我们认为应该在传统分类方式的基础上，结合信源和信宿所处理的信号种类对通信系统重新进行分类。这样，我们就把通信系统分为三种：模拟通信系统、数字通信系统和数据通信系统。这里需要明确模拟通信、数字通信和数据通信的概念：

(1) 模拟通信一般指的是信源发出的、信宿接收的和信道传输的都是模拟信号的通信过程或方式。因此，模拟通信系统可以说是以模拟信道传输模拟信号的系统。

(2) 数字通信是指信源发出和信宿接收的是模拟信号，而信道传输的是数字信号的通信过程或方式。因此，数字通信系统可以说是以数字信号的形式传输模拟信号的系统。

(3) 数据通信是随计算机和计算机网络的发展而出现的一种新的通信方式，它是指信源、信宿处理的都是数字信号，而传输信道既可以是数字信道也可以是模拟信道的通信过程（方式）。通常，数据通信主要指计算机（或数字终端）之间的通信。有关数据通信的内容将在第二篇详细介绍。

图 1-3(b)是三种通信系统（方式）的简单示意图。



数字通信产生的直接原因是为了提高模拟通信的质量,所以,数字通信可以理解成是模拟通信的升级。因为对通信双方而言,它们接触的仍然是模拟信号(或模拟信息),如果只从信号传输的角度上看(不考虑保密等),数字通信与模拟通信的主要差别仅仅是前者信宿接收到的信号质量更好一点而已,但它们的信号传输方式(传输系统)却迥然不同;而数据通信在信号传输上与数字通信大致相同(先不考虑模拟信道传输),但它的信息源一般为数字信息(离散信息),所以数据通信在功能上可以认为是数字通信的延伸或分支。因此,从技术体制上看,通信方式仍然只分为模拟通信和数字通信两种。数字通信具有以下特点:

① 抗干扰能力强。由于数字信号的取值个数有限(大多数情况只有 0 和 1 两个值),因此在传输过程中我们不太关心信号的绝对值,只注意相对值即可。比如设高电平 5 V 为 1,低电平 0 V 为 0,在传输时受噪声影响,5 V 变成 8 V,而我们只要看到大于 5 V 的值认为是 5 V 就行了(当然,0 V 受干扰也可能变成 8 V,以致于把数据 0 误认为数据 1。但经过信道编码后,数据 0 不是用简单的低电平表示,因此,这样的误码就不会出现)。同时,传输中继器可再生信号,消除噪声积累。比如一个中继器收到一个受干扰而变成 8 V 的信号,若是模拟通信,中继器就会原封不动地把这个 8 V 信号放大后送往下一级,下一级接着放大再往下送,这样一级一级下去,噪声被不断地放大,形成噪声积累直到通信终端。如果是数字通信,第一个收到这个 8 V 信号的中继器先认为该信号为一高电平信号,然后并不将该信号往下传,而是重新生成一个标准高电平信号(比如为 5 V)传往下一级,这样,噪声就不会像模拟通信那样被一级一级地放大,而是被中继器“隔离”,从而消除了噪声积累。

② 便于进行信号加工与处理。由于信号可以储存,因此可以像处理照片一样对信号随意加工处理(在技术允许的范围内)。

③ 传输中出现的差错(误码)可以设法控制,提高了传输质量。

④ 数字信息易于加密且保密性强。

⑤ 能够传输语音、电视、数据等多种信息,增加了通信系统的灵活性和通用性。

总之,数字通信的优点很多,但事物总是一分为二的。数字通信的许多长处是以增加信号带宽为代价的。比如,一路模拟电话信号的带宽为 4 kHz,而一路数字电话信号大概要占 20~60 kHz 的带宽。这说明数字通信的频带利用率低。尽管如此,数字通信仍将是未来通信的发展方向。

## 2. 按传输介质分类

按传输介质的不同,通信系统又有无线通信系统与有线通信系统之分。利用无线电波、红外线、超声波、激光进行通信的系统统称为无线通信系统。广播系统、移动电话系统、传呼通信系统、电视系统等都是无线通信系统。而用导线(包括电缆、光缆和波导等)作为介质的通信系统就是有线通信系统,如市话系统、闭路电视系统、普通的计算机局域网等。

随着通信技术、计算机技术和网络技术的飞速发展,单纯的有线或无线通信系统越来越少,实际通信系统常常是“无线”中有“有线”,“有线”中有“无线”。因此,无论是作为科学知识还是学科专业,当代的无线通信、有线通信和计算机网络三者的关系密不可分。

## 3. 按调制方式分类

按调制与否,可分为基带通信系统和调制通信系统。所谓基带系统,传输的是基带信号(指没有经过任何调制处理的信号),而调制通信传输的是已调信号。